

УДК 681.3

В.Я. Воропаева, Е.В. Жалейко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра автоматизации и телекоммуникаций
E-mail: voropayeva@donntu.edu.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФРАКТАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОТОКОВ ДАНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ

Аннотация

Воропаева В.Я., Жалейко Е.В. Исследование характеристик фрактальных процессов потоков данных мультисервисных сетей. В работе проведен анализ различных видов трафика, исследованы основные характеристики фрактальных процессов (коэффициент Херста, тяжесть хвоста) отдельных потоков данных, рассмотрен объединенный поток и выявлена зависимость уровня самоподобия от числа мультиплексируемых потоков.

Ключевые слова: самоподобие, долговременная зависимость, коэффициент Херста, трафик, мультисервисная сеть, тяжесть хвоста, агрегирование временных рядов.

Общая постановка проблемы. С точки зрения современных тенденций развития телекоммуникаций актуальной задачей является построение конвергентной мультисервисной сети. Такая сеть должна обеспечивать неограниченный набор услуг, предоставлять гибкие возможности по управлению и созданию новых видов сервиса. Последнее требует реализации универсальной транспортной сети с распределенной коммутацией, где взаимодействие между устройствами и приложениями осуществляется с помощью создания виртуальных соединений, на управление которыми заметно влияют особенности стохастической динамики процессов пакетной коммутации [1].

Одной из наиболее актуальных проблем исследования вероятностно-временных характеристик сетей является адекватный учет особенностей сетевого трафика. Классические подходы теории телетрафика базируются на предположении, что входящие потоки являются стационарными пуассоновскими, т.е. представляют собой суперпозицию большого числа независимых стационарных ординарных потоков без последствия равномерно малой интенсивности [2]. Для телефонных сетей с канальной коммутацией такое предположение справедливо. Но анализ результатов исследований и экспериментов по измерению характеристик трафика информационных сетей с пакетной коммутацией [3–6] демонстрирует наличие корреляции длин интервалов времени как для моментов поступления запросов в систему, так и для моментов окончания обслуживания, что является признаком наличия последствия. В современных мультисервисных сетях такая тенденция еще более усиливается.

Этой проблемой занимались многие специалисты. Начиная с публикации Леланда и др. «О самоподобной природе трафика Ethernet», зарубежные и отечественные ученые рассматривали фрактальные модели сетевого трафика в применении к протоколам разного уровня проводных и беспроводных пакетных сетей. Среди российских и украинских исследователей необходимо отметить работы О.И.Шелухина, Б.С. Цыбакова, А.В. Осина, А.Г. Ложковского, А.В. Рослякова, В.В. Петрова, Г.А. Кучука. Так, например, в работе [3] авторы показали, что в сетях стандарта 802.16 b самоподобные свойства трафика проявляются как на канальном, так и на транспортном уровнях. Получены значения основных показателей степени фрактальности сетевого трафика и предложены методы агрегирования исходной статистики [5].

Однако нет общепризнанных выводов о значениях характеристик фрактальных процессов для разных видов служб мультисервисных сетей и для объединенного потока.

Постановка задач исследования. Определение характеристик фрактальных процессов различных потоков данных в мультисервисных сетях крайне важно для последующего принятия решения о способе управления ими. Для решения поставленной задачи необходимо:

- исследовать трафик данных, аудио-, видеотрафик;
- проанализировать объединенный поток;
- сделать вывод о зависимости уровня фрактальности суммарного потока от самоподобных свойств потоков, которые он в себе содержит.

Решение задач и результаты исследований. Сети с коммутацией пакетов используют модели систем с ожиданием для описания сетевых устройств. При этом основные расчеты выполнены для классической модели M/M/v/W [1]. Эта модель имеет ряд предположений и упрощений: во-первых, длина очереди не ограничивается, что конечно не выполняется для любого сетевого оборудования. Во-вторых, время обслуживания пакетов устройствами коммутации или маршрутизации в этой модели считается экспоненциально-распределенным. Как показано в [5], при широком спектре действующих в сети протоколов следует принимать произвольный закон распределения времени обслуживания, т.е. использовать модель M/G/v/W.

В-третьих, входящий поток считается простейшим со свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последействия. Указанные свойства обеспечиваются, если поток формируется бесконечным количеством источников, причем в каждый момент времени активируется не более одного источника, а интервал между двумя соседними пакетами потока случайная величина с экспоненциальным распределением. Такой подход справедлив для голосового трафика, может с определенными допущениями быть принят для трафика данных, который характеризовался определенным уровнем пачечности, но не требовал минимальных задержек. Эти предположения позволяли использовать марковские случайные процессы для моделирования таких систем.

Но исследования мультимедийного трафика, пачечность которого значительно выше на фоне требований к обслуживанию в режиме реального времени, свидетельствуют о его самоподобной природе, которая существенно ухудшает показатели качества обслуживания по сравнению с пуассоновскими потоками. На качественном уровне самоподобие проявляется в наличии медленно убывающей зависимости между параметрами трафика (в частности, дисперсии длины кадров или коэффициента автокорреляции) в разные моменты времени. Мультимедийный трафик имеет высокий уровень пачечности, причем эти пачки данных статистически подобны в широком диапазоне изменения масштаба времени.

Как известно [5], процесс X называется самоподобным с параметром $H = 1 - (\beta / 2)$, $0 < \beta < 1$, если его коэффициент автокорреляции

$$r(k) = \frac{1}{2} [(k + 1)^{2-\beta} - 2k^{2-\beta} + (k - 1)^{2-\beta}] = g(k), k \in N, \tag{1}$$

где функция $g(k) = \frac{1}{2} \delta^2(k^{2-\beta})$ выражена через центральный разностный оператор 2-го порядка $\delta^2(f(x))$, который действует на функцию $f(x) = x^{2-\beta}$ так, что $\delta(f(x)) = f(x + \frac{1}{2}) - f(x - \frac{1}{2})$

Самоподобие проявляется в том, что для процесса X , который удовлетворяет условию (1), выполняется равенство $r_m(k) = r(k)$, то есть в таком процессе не изменяется коэффициент автокорреляции после усреднения по блокам какой-либо длины m . Таким образом, для самоподобного процесса статистические характеристики второго порядка нормированного агрегированного процесса $X^{(m)}$ не отличаются от характеристик выходного процесса X при значительном интервале изменений m .

Параметр H являється індикатором степені самоподобія процесу, а також свідчить про наявність у нього таких властивостей як персистентність/антиперсистентність і довга пам'ять. Для марковських процесів (без послідовності) коефіцієнт Херста дорівнює 0,5. Процес являється повністю випадковим, відповідно, простіший (Пуассоновський) потік ще називають «потіком чистої випадковості першого роду».

При $0 < H < 0,5$ процесу властива антиперсистентність: високі значення процесу йдуть за низкими і навпаки. Тобто, ймовірність того, що на $k + 1$ кроці процес відхилиться від середнього в протилежному напрямку (відносно відхилення на k кроці), настільки велика, наскільки параметр H близький до 0.

В разі $0,5 < H < 1$ процес являється персистентним або з довгою пам'яттю: якщо в певний час в минулому спостерігалося збільшення параметрів процесу, то і в майбутньому в середньому буде відбуватися їх зростання. Іншими словами, ймовірність того, що на кроці $k + 1$ процес відхилиться від середнього в тому ж напрямку, що і на k кроці, настільки велика, наскільки параметр H близький до 1.

Для того щоб підтвердити існування властивості самоподобія для різних потоків даних мультисервісної мережі, необхідно провести вимірювання деяких характеристик різних видів мережевого трафіку. Для цього нам потрібні статистичні дані про такі потоки, як аудіо, відео і трафік даних, а також потрібно провести дослідження об'єднаного потоку.

В якості вихідних даних візьмемо час між надходженнями пакетів при різних типах трафіку. Ці дані були отримані за допомогою програми Wireshark за допомогою її налаштувань відповідним чином:

- для спостереження потоку даних здійснювався перегляд Web-сторінок в мережі Internet;
- для спостереження відео трафіку переглядалося відео в он-лайн режимі;
- для спостереження аудіо трафіку прослушувалася музика в режимі он-лайн.

Досліджуємо трафік даних – звернень користувачів до Web-сервера. Отриманий часовий ряд містить 150 спостережень, кожне з яких є інтервалом часу між надходженнями пакетів. Після визначення характеристик трафіку потоку даних будемо будувати залежність між часом надходження пакета і його номером (рис. 1а). Далі будемо агрегувати дані по 5 (рис. 1б) і 10 (рис. 1в) пакетів. При зміні шкали побудови трафіку, ми можемо спостерігати самоподобіє. Цей факт є передумовою для проведення подальшого аналізу.

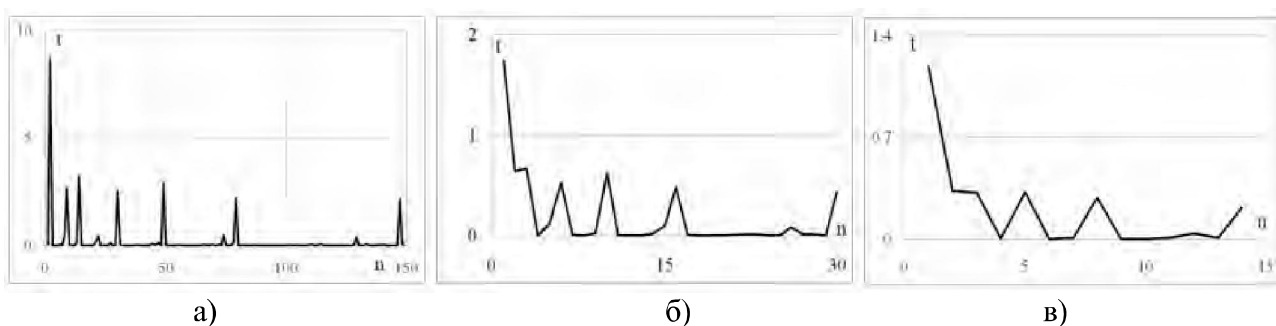


Рисунок 1. а) Исходная статистика; б) Объединение данных по 5 пакетов; в) Объединение данных по 10 пакетов

Для того, чтобы оценить тяжесть хвоста для имеющихся данных, строим в логарифмическом масштабе график дополнительного распределения $\bar{F}(x) = 1 - F(x) = P(X > x)$. График приведен на рисунке 2.

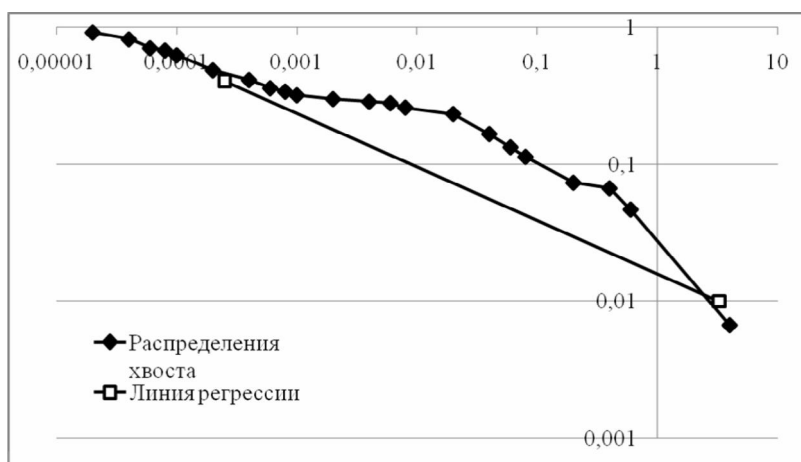


Рисунок 2. – Функция распределения хвоста

Для того чтоб найти значение коэффициента α , который характеризует тяжесть хвоста распределения, необходимо построить функцию регрессии. Для этого воспользуемся стандартной функцией программы Excel «Линейн», которая позволяет построить прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные.

Значение α рассчитываем, исходя из следующего равенства

$$tg(\alpha) = \frac{d \log(\bar{F}(x))}{d \log x}. \tag{4}$$

Значение параметра самоподобия H рассчитываем по формуле $H = \frac{3-\alpha}{2}$. В результате расчетов получаем значение $H=0,7595$.

Как видим, значение H попадает в промежуток от 0,5 до 1, что подтверждает предполагаемое свойство самоподобия рассматриваемого процесса.

Аналогично снимаем характеристики аудио- и видеотрафика, следим за сохранением их структуры при изменении масштаба и рассчитываем показатель Херста. Таким образом, получаем $H=0,7158$ и $H=0,7152$ соответственно для каждого вида трафика.

Для того чтоб сделать выводы о том, насколько самоподобие различных видов трафика влияет на поведение общего потока в сети, необходимо провести аналогичные наблюдения и расчеты объединенного потока. На рисунке 3 приведены зависимости между временем поступления пакетов и их номерами для суммарного трафика.

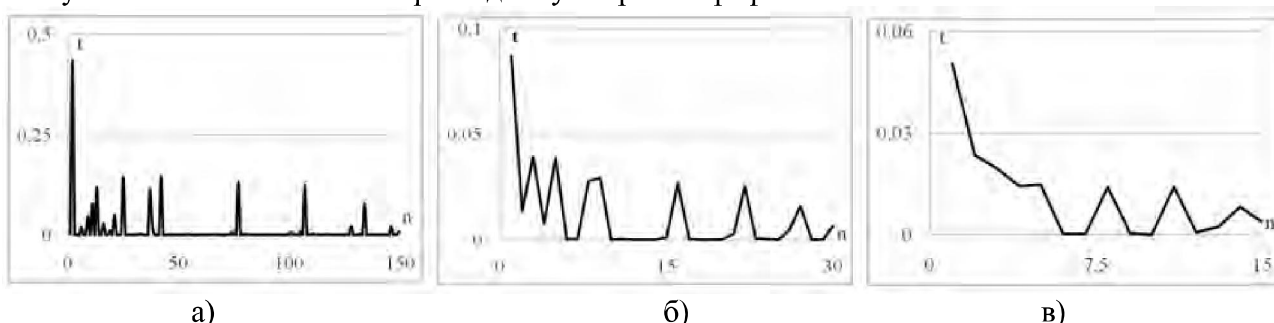


Рисунок 3. а) Исходная статистика; б) Объединение данных по 5 пакетов; в) Объединение данных по 10 пакетов

Далее с помощью построения функции распределения хвоста, определяем параметр Херста, который установился на уровне 0,7625. Подобные результаты получены и в других работах [4], подтверждая вывод: чем больше мультиплексируемых потоков объединяется в канале передачи, тем выше показатель Херста для объединенного потока.

Таким образом, статистическое мультиплексирование без учета характеристик фрактальных процессов, которое лежит в основе передачи информации почти во всех

телекоммуникационных сетях, является малоэффективным. Этот факт позволяет вести дальнейшие исследования в направлении поиска путей оптимального управления самоподобным трафиком в сетях с пакетной коммутацией.

Выводы.

1. Определены характеристики фрактальных процессов различных видов трафика мультисервисных сетей. Коэффициент Херста для потока данных равен 0,7595, для аудиотрафика этот показатель составляет 0,7158 и для видеотрафика $H=0,7152$.

2. По результатам исследования можно сделать вывод, что при объединении различных типов трафика, показатель Херста устанавливается выше, чем у отдельно взятых потоков, поскольку он составляет 0,7625.

3. Повышающийся уровень самоподобия при объединении различных потоков данных в мультисервисных сетях необходимо учитывать при разработке алгоритмов управления ними.

Литература

1. Воропаева В.Я. Оцінка показників якості NGN-мереж з урахуванням фрактальності вхідного трафіку / В.Я. Воропаєва // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2008. – Вип. 15 (130). – С. 23-29.

2. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – С-Пб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288с.

3. Платов В.В. Исследование самоподобной структуры телетрафика беспроводной сети / В.В. Платов, В.В. Петров // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2004. – №3. – С. 38-49.

4. Шелухин И.О. Оценка самоподобия трафика в сети широкополосного доступа WiMAX / И.О. Шелухин, С.Б. Матвеев, А.С. Пастухов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2008. – №1. – С. 88-96.

5. Бельков Д.В. Исследование сетевого трафика / Д.В. Бельков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. – 2009. – Вип. 10 (153). – С. 212-215.

Надійшла до редакції:
18.03.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.А.

Abstract

Voropayeva V.Y., Zhaleyko E.V. Multi-service networks fractal processes data streams characteristics investigation. There is analyzed the different types of traffic, investigated the main characteristics of fractal processes of the individual data streams, considered the combined flow and revealed dependence of the level of self-similarity of the number of multiplexed streams.

Key words: self-similarity, long-term dependence, Hurst coefficient, traffic, multi-service network, the weight of the tail, the aggregation of time series.

Анотація

Воропаєва В.Я., Жалейко Є.В. Дослідження характеристик фрактальних процесів потоків даних мультисервісних мереж. В роботі проведено аналіз різних видів трафіку, досліджено основні характеристики фрактальних процесів окремих потоків даних, розглянуто об'єднаний потік та виявлено залежність рівня самоподібності від кількості потоків, що мультиплекуються.

Ключові слова: самоподібність, довготривала залежність, коефіцієнт Херста, трафік, мультисервісна мережа, важкість хвоста, агрегування часових рядів.